

УДК 621.05

Крутиков Г.А., Стрижак М.Г.

СВОБОДНОПРОГРАММИРУЕМЫЙ ДИСКРЕТНЫЙ ПНЕВМОПРИВОД С ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

Актуальность работы. При массовом использовании пневмоприводов в гибких автоматизированных производствах кроме обеспечения заданной точности позиционирования, высокого быстродействия и свободной перенастройки точек позиционирования от пневмопривода требуется и максимально возможное снижение непроизводительных энергозатрат. Последнее требование достаточно актуально ввиду дороговизны используемого энергоносителя – сжатого воздуха.

Цель работы. Разработка пневматической схемы привода и алгоритма управления, обеспечивающих наряду с традиционными требованиями (точность позиционирования, заданное быстродействие и т.д.) режим энергосбережения.

Основные положения. В работах [1, 2] обоснована стратегия дискретного свободнопрограммируемого позиционирования рабочего органа (РО) пневмопривода (ПП) с использованием стандартных пневмораспределителей и микропроцессорного управления. Основой этой стратегии является представление ПП в виде системы переменной структуры (СПС), в которой движение РО, торможение и позиционирование осуществляется за счёт изменения структуры коммутационных связей в зависимости от нахождения РО в той или иной подобласти фазового пространства.

Наиболее рациональным, в соответствии с этой концепцией, представляется трёхэтапный режим позиционирования, при котором первые два этапа: разгон и радикальное ("грубое") торможение вплоть до первой остановки РО, осуществляется при разомкнутом ПП, а третий этап представляет собой отслеживание линии переключения, когда распределители переключаются в зависимости от знака функции рассогласования U . Функция рассогласования представляется как некоторая граничная линия в фазовой плоскости и чаще всего это наклонная линия, которая проходит через точку позиционирования [2]:

$$U = X_Z - X - K_V V, \quad (1)$$

где U – функция переключения; X, X_Z – текущая и заданная координата РО; V – скорость РО; K_V – коэффициент обратной связи по скорости.

На рис. 1 представлена наиболее простая пневматическая схема (схема №1), используемая рядом авторов для дискретного управления многопозиционным пневмоприводом [6].

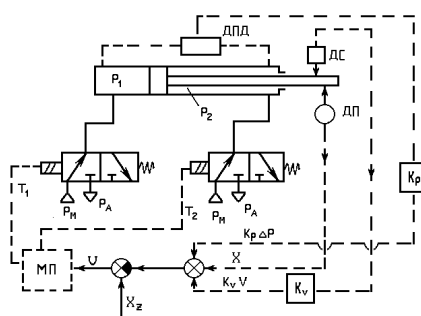


Рисунок 1 – Пневматическая схема многопозиционного ПП с дискретным управлением

Таблица 1 – Программа управления пневмораспределителями

Фазы движения	T_1	T_2
Разгон вправо	0	1
Радикальное торможение	1	0
Отработка линии переключения	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$	$\frac{1 + \text{sign}U}{2}$
Фиксация	1	1

Такие ПП, как и классические следящие системы, оснащаются датчиками положения, скорости и, в ряде случаев, датчиками перепада давления и имеют контуры обратных связей, но вместо аналогового сервоклапана, который реагирует на знак и величину функции рассогласования они имеют дискретные пневмораспределители, которые реагируют только на знак функции рассогласования. Причём показано, что для устойчивой отработки линии переключения, т.е. функции рассогласования U её необходимо усложнять переходя от двухконтурного регулятора вида (1) к трёхконтурному регулятору с функцией переключения:

$$U = X_Z - X - K_V V - K_P \Delta P. \quad (2)$$

Усложнение функции переключения U крайне нежелательно при реализации программы самообучения [1]. Поэтому задачу надёжной отработки линии переключения $U(1)$ необходимо решать за счёт выбора рациональной пневматической схемы, в которой для каждой фазы движения РО ПП необходимо предусмотреть оптимальную коммутационную ситуацию. При этом кроме поставленной задачи необходимо решать и задачу энергосбережения.

Все желаемые коммутационные ситуации, которые должна реализовать пневматическая схема, изображены на рис. 2.

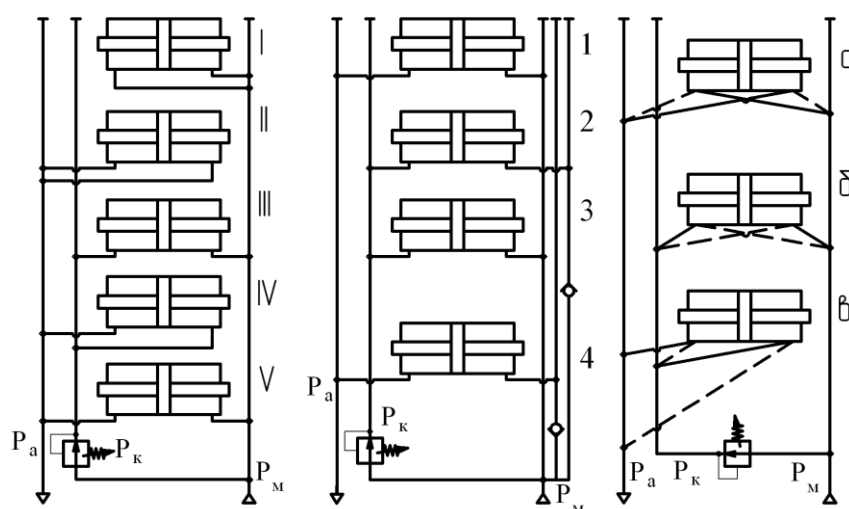


Рисунок 2 – Варианты коммутационных связей в ПП при движении РО вправо для исходного состояния РО (а), радикального торможения (б) и отслеживания линии переключения (с)

Для режима разгона РО оставим только одну коммутационную ситуацию, когда рабочая полость ПП соединена с магистралью питания, а выхлопная полость – с атмосферой. При описании коммутационных ситуаций в каждой фазе движения принят следующий порядок: вариант коммутаций полостей ПП при исходном состоянии (фиксации) обозначается римской цифрой (рис. 1а), вариант коммутации полостей ПП при радикальном торможении обозначается арабскими цифрами (рис. 1б), и вариант коммутации при отслеживании линии переключения обозначается буквами (рис. 1с).

Пневматическая схема (схема №2) с минимально необходимым набором пневмораспределителей, реализующая все желаемые коммутационные ситуации для всех фаз движения представлена на рис. 3 [4].

На рис. 3 ПК – программируемый контроллер; ДП – датчик положения; БП1 – блок питания интерфейсной магистрали; БП2 – блок питания свободнокомпоуемых модулей контроллера; МП – микропроцессорный модуль; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МВ – модуль вывода дискретных сигналов; ИМО – интерфейсная магистраль [5]; Ф – пневмомеханический фиксатор; F, R, T₁, T₂, T₃ – дискретные управляющие сигналы пневмораспределителей.

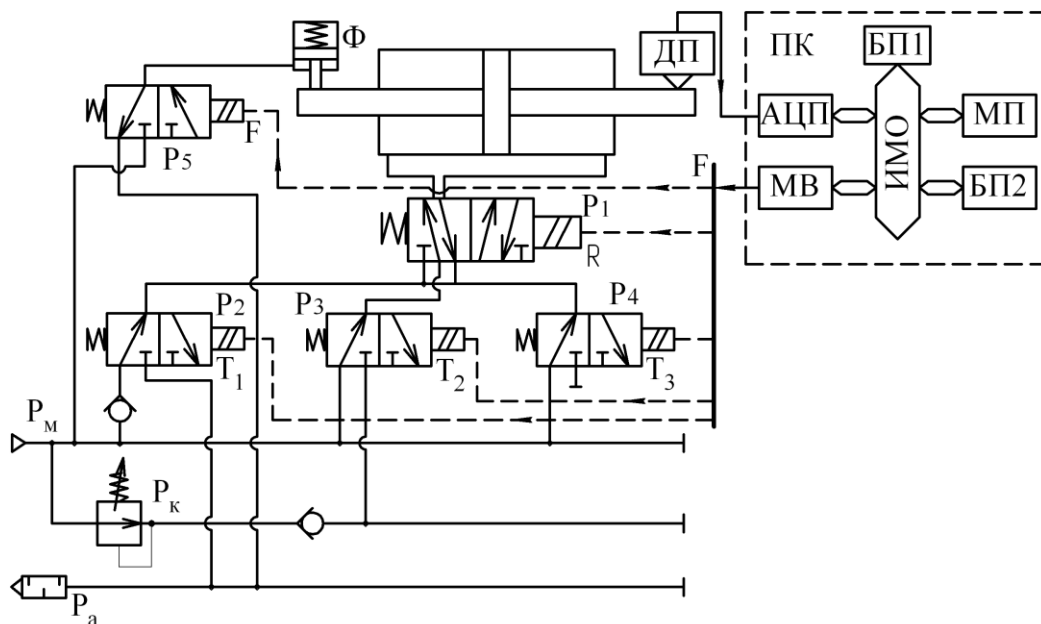


Рисунок 3 – Универсальный пневматический управляющий модуль с минимально необходимым количеством пневмораспределителей

Пневматическая часть схемы состоит из одного 5-ти линейного и четырёх 3-х линейных распределителей, а также из пневматических линий с тремя уровнями давлений (p_m , p_k и p_a). Распределитель P₁ обеспечивает отслеживание линии переключения, распределители P₂, P₃ и P₄ обеспечивают необходимую гамму коммутационных ситуаций для каждой фазы движения, распределитель P₅ управляет пневмомеханическим фиксатором F.

Наиболее рациональные алгоритмы управления из широкой гаммы возможных комбинаций приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Программа управления пневмораспределителями при разных способах позиционирования

Номер схемы	Фазы движения	R	T ₁	T ₂	T ₃	F	Номер схемы	Фазы движения	R	T ₁	T ₂	T ₃	F
I.3.б	разгон вправо	0	1	0	1	1	IV.2.в	разгон вправо	0	1	0	1	1
	радикальное торможение	0	0	1	0	1		радикальное торможение	0	0	1	1	1
	отслеживание линии переключения	$\frac{1-\text{sign}U}{2}$	0	1	0	1		отслеживание линии переключения	$\frac{1+\text{sign}U}{2}$	1	1	1	1
	фиксация	$0 \vee 1$	0	0	0	0		фиксация	$0 \vee 1$	1	1	1	0

Движение РО в фазовой плоскости в соответствии с алгоритмом управления IV.2.в представлено на рис. 4. Фазовая плоскость при использовании данной стратегии управления разбита на четыре подобласти и при переходе из одной в другую подобласть происходит переключение коммутационных связей в пневмосистеме. Необходимо отметить, что в подобласти I и II ПП остаётся разомкнутым и только после первой остановки РО (X_X – координата первой остановки) включается релейная обратная связь и происходит отслеживание линии переключения U .

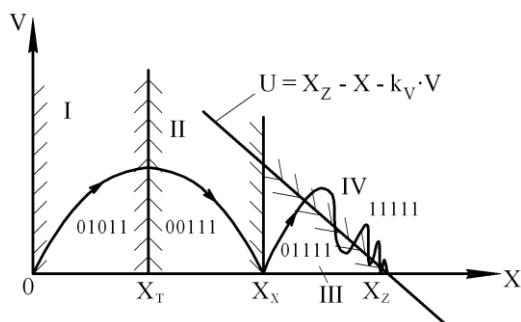


Рисунок 4 – Движение РО в фазовой плоскости в соответствии с алгоритмом IV.2.в

На рис. 5 и 6 представлены переходные процессы, полученные при разных алгоритмах управления (I.3.б – рис. 5 и IV.2.в – рис. 6).

Отличительная особенность схемы № 2 с предлагаемым алгоритмом работы – возможность работы только на основе двухконтурного ПД-регулятора (1) без введения отрицательной обратной связи по перепаду давления. Энергозатраты схемы № 2 с алгоритмом I.3.б и IV.2.в снижаются, особенно для алгоритма IV.2.в (рис. 6). В этом случае подача сжатого воздуха к ПП из магистрали высокого давления прекращается в начале "радикального" торможения. Причём, в режиме торможения происходит частичная рекуперация в сеть высокого давления полости. При отслеживании линии переключения сжатый воздух отбирается из линии с пониженным давлением, близким к атмосферному. Кроме того снижается непроизводительная работа выталкивания сжатого воздуха из выхлопной полости в процессе разгона РО из-за низкого противодавления.

Все эти факторы приводят к значительному снижению непроизводительных энергозатрат ПП со схемой № 2 при алгоритме IV.2.в.

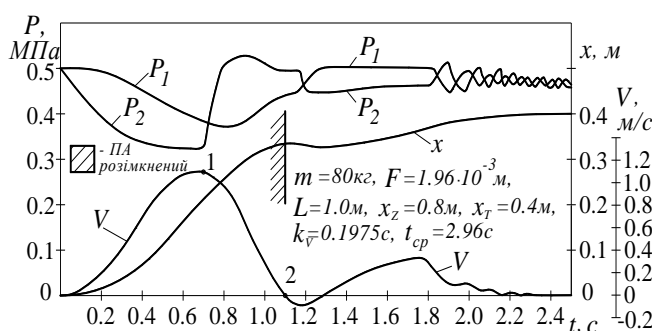


Рисунок 5 – Переходный процесс для ПП с алгоритмом I.3.б

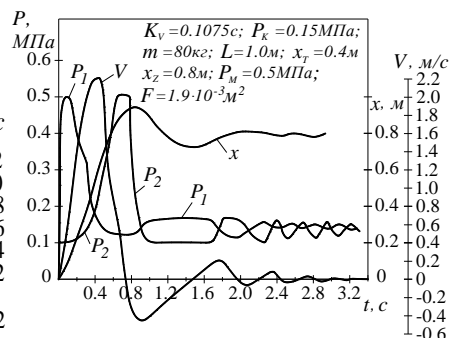


Рисунок 6 – Процесс позиционирования с алгоритмом IV.2.в

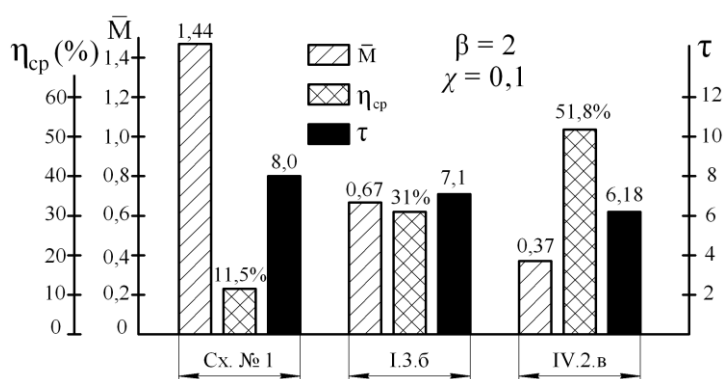


Рисунок 7 – Сравнительная диаграмма энергетических и динамических характеристик

Сравнительная диаграмма на рис. 7 основных энергетических характеристик для трёх рассмотренных случаев построена при соблюдении равных критериев динамического подобия β и χ [3].

На диаграмме \bar{M} – относительное количество сжатого воздуха, потреблённого при одном срабатывании; η_{cp} – осреднённый за цикл КПД [3]; τ – безразмерное время срабатывания [3].

Выводы. Полученная пневматическая схема с двумя рациональными алгоритмами управления, а также стратегия трёхэтапного позиционирования с отработкой на последнем этапе пропорционально-дифференциальной релейной обратной связи является экономически привлекательной не только из-за низкой цены стандартных пневматических элементов, но также из-за возможности осуществлять эффективное энергосбережение.

Литература

1. Крутиков Г.А., Вурье Б.А. Выбор оптимального управления релейным многопозиционным пневмоприводом // Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение. – 1995. – № 9. С. 5–10.
2. Крутиков Г.А., Хмелевская О.Г. Повышение быстродействия и точности позиционирования многопозиционного пневмопривода за счёт адаптивного микропроцессорного управления // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1999, № 49. С. 28–33.

3. Крутиков Г.А. Разработка энергосберегающей структуры пневмопривода с торможением в конце хода // Интегровані технології та енергозбереження. – 2007.– № 1. С. 3–10.
4. Крутиков Г.А., Седач В.В. Пневматический привод // а.с. 1596142 СССР. Опубл. 30.01.89. Бюл. № 4, 1989 – 3 с.
5. Черкашенко М.В. Автоматизация проектирования систем гидро- и пневмоприводов с дискретным управлением // Монография, Харьков, НТУ «ХПИ», 2007, 211 с.
6. Linnet J.A., Smith M.C. An accurate low – friction pneumatic position control system // Proc. Inst. Mech. Eng. – 1996. – Vol.20. – P. 203–208.

УДК 621.05

Крутіков Г.А., Стрижак М.Г.

ВІЛЬНОПРОГРАМОВАНИЙ ДИСКРЕТНИЙ ПНЕВМОПРИВОД З ЕНЕРГОЗАОЩАДЖУЮЧИМ РЕЖИМОМ РОБОТИ

Розглянуті питання побудови багатопозиційного адаптивного пневмопривода на базі стандартної релейної пневмоапаратури, яка забезпечує не тільки потрібні точність і швидкодію, а й режим енергозбереження.

Krutikov G., Strizhak M.

FULLY PROGRAMMABLE PNEUMATIC ACTUATOR WITH OPERATING MODE ENERGY SAVING

The problems of constructing an adaptive multi-position actuator on the basis of a standard pneumatic relay, along with providing the required accuracy and speed energy-saving mode.